

# Spectral Imaging for Material Detection and Classification

著者	Wang Chao
発行年	2021-09-24
その他のタイトル	マテリアルの検出と識別のためのスペクトルイメージング
学位授与番号	17104甲情工第360号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00008572">http://hdl.handle.net/10228/00008572</a>

氏 名	WANG CHAO (中華人民共和国)
学位の種類	博 士 (情報工学)
学位記番号	情工博甲第360号
学位授与の日付	令和3年9月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Spectral Imaging for Material Detection and Classification (マテリアルの検出と識別のためのスペクトルイメージング)
論文審査委員	主 査 教 授 岡 部 孝 弘 〃 榎 田 修 一 〃 乃 万 司 〃 齊 藤 剛 史

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、非破壊・非接触でマテリアル（物質）を検出・識別するための画像に基づく手法を提案している。画像に基づくマテリアルの検出・識別は、外観検査などの産業応用のみならず、質感などの人間の認知機構の理解のためにも重要である。

マテリアルに光が入射すると、入射光とマテリアルの相互作用により、反射、吸収、散乱などの光学現象が生じる。本論文では、これらの光学現象が光の波長に依存することから、従来の3バンド(RGB)のイメージング技術を多波長に拡張したスペクトルイメージングの枠組みで、マテリアルの識別・検出を行っている。

前半のマテリアルの検出では、カメラベースのスペクトルイメージングにより水を検出する手法を提案している。具体的には、水が可視光に対して透明である一方で近赤外光に対して半透明・不透明であることに基づいて、近赤外域において、水が有るときの物体表面の見かけの反射率（分光反射率）が、水が無いときの反射率よりも小さくなることを手掛りにして水を検出している。そのために、可視域から近赤外域までの分光反射率が少数の基底の線形結合で近似的に表現できることを示すとともに、ハイパースペクトル画像を入力として、水の有無に依らない可視光域の分光反射率から、水が無いときの近赤外域の分光反射率を推定している。分光反射率が未知で非一様な物体表面上の水を対象とした実験を行い、関連手法に対する提案手法の有効性を示している。

さらに、上記の手法を拡張した水と油の検出手法を提案している。具体的には、反射と吸収の物理モデルに基づいて、ハイパースペクトル画像から、液体の種類・厚さ、および、背後の物体の分光反射率を推定している。分光反射率が未知で非一様な物体表面上の水・油を対象とした実験を行い、ハイパースペクトル画像と分光反射率の線形結合表現に基づく提案手法の有効性を示している。

後半のマテリアルの識別では、光源ベースのスペクトルイメージングにより金属を識

別する手法を提案している．具体的には，金属の見えが，分光反射率と表面粗さを介して光源の色と方向の両方に依存することから，多波長・多方向光源下で撮影されたカラー画像を入力とする２クラス識別法を提案している．提案手法では，多波長・多方向光源の強度に加えてカラー画像から濃淡画像へのモノクロ変換も同時に最適化すること，ならびに，光源の強度に非負値制約を課すことで，単一画像のみから高精度の識別を実現している．また，モノクロ変換の自由度を活用した多クラス識別への拡張も提案している．複数の濃淡画像やカラー画像に基づく従来手法との比較を行い，提案手法の有効性を示している．

さらに，上記の手法を拡張した少数光源を用いた金属の識別手法を提案している．具体的には，光源強度とモノクロ変換を最適化する際に，光源の数（光源強度）にスパース性を課すことで光源数を削減している．多数の光源下で撮影された複数の濃淡画像やカラー画像を入力とする従来手法に対して，少数の光源下で撮影された単一のカラー画像を入力とする提案手法が同程度の識別率を有することを示している．

以上のように，本論文では，単に撮影された画像を認識してマテリアルを識別・検出するのではなく，マテリアルの識別・検出のために撮影方法から認識方法までの全体を検討・設計している．特に，水・油や金属といった被写体の光学的特性に着目して，カメラベースおよび光源ベースのスペクトルイメージングによる識別・検出を提案している．提案手法の関連手法・従来手法に対する有効性も示されていることから，本論文はコンピュータビジョン分野，コンピューショナルフォトグラフィ分野の発展に寄与できる．

## 学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文で提案されたアプローチ，つまり，単に撮影された画像を認識してマテリアルを識別・検出するのではなく，マテリアルの識別・検出のために撮影方法から認識方法までの全体を設計するというアプローチは，コンピュータビジョン分野やコンピューショナルフォトグラフィ分野の発展に寄与すると考えられる．また，本研究の成果は，外観検査などの産業応用への展開も期待される．

本論文に関し，論文審査委員から，カメラベースと光源ベースのスペクトルイメージングの関係，分光反射率の線形結合表現の妥当性，最適化の詳細とその妥当性，実験の条件・結果の詳細，および，将来展望などについて質問がなされたが，いずれも著者から満足な回答が得られた．また，公聴会においても，多数の出席者があり，種々の質問がなされたが，いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた．

以上により，論文調査及び最終試験の結果に基づき，審査委員会において慎重に審査した結果，本論文が，博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した．